

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET CINEMATQUES DE GLISSEMENTS DE TERRAIN DE FAIBLE VOLUME

Par G. BIGUENET* et P. SIRIEYS**

RESUME

Les caractères communs à quinze glissements de terrain dans des alluvions récentes, mélanges de moraines et d'éboulis, à faible pente, résultant de travaux de terrassement, ou d'une surcharge localisée, sont analysés. Les déplacements ont la direction de la ligne de plus grande pente. La surface de rupture, est proche d'une calotte sphérique. Le glissement peut être assimilé à la rotation de cette calotte sphérique, autour d'un axe horizontal parallèle à l'horizontale du talus, même lorsque l'excavation, ou le remblai, ont une orientation différente. Dans ces terrains peu cohésifs, des surcharges ou décharges minimales suffisent à provoquer le glissement, même sur de faibles pentes.

1. -INTRODUCTION

Les pentes naturelles, notamment dans les Alpes, et à l'exclusion des massifs rocheux, sont généralement constituées par des terres meubles, dépôts récents, éboulis ou moraines, dont la structure s'apparente à des mélanges de blocs, cailloux et argiles. Ces formations, modelées par l'érosion au cours de quelques milliers d'années, sont en principe stables, mais près de leur limite de stabilité, si bien qu'une modification, même légère, des conditions naturelles peut entraîner la rupture de l'équilibre actuel, donc un glissement de terrain. Les causes de glissement peuvent être naturelles (notamment venues d'eau importantes, érosion différentielle, séismes), ou provoquées par l'homme, sous forme de terrassements intempestifs et irresponsables.

L'analyse qui suit tente de dégager, à l'aide de mesures et d'observations, les caractéristiques communes à quinze petits glissements survenus ces dernières années, à l'occasion de terrassements imprudents. L'analogie avec de grands glissements naturels, notamment celui de Sinard, bien connu des géologues alpins, est également soulignée. Les circonstances des quinze glissements observés sont sensiblement identiques et caractérisent aussi de nombreux autres cas. Les terrains en présence étaient constitués d'éboulis argileux ou de moraines à gangue argileuse, toujours sensibles aux pressions interstitielles engendrées par les circulations d'eau.

* Institut de Mécanique de Grenoble (UMR 101 du CNRS)

**Laboratoire de Géologie Alpine (URA 69 du CNRS) Grenoble

A l'occasion de travaux (construction d'une maison, élargissement d'un chemin), des terrassements ont été exécutés et un glissement de terrain s'est produit. Les dégâts généralement importants entraînent des coûts de réparation élevés dépassant la valeur de la maison.

1. -GEOMETRIE DES SURFACES DE GLISSEMENTS

Les quinze cas présentés sont classés en trois groupes suivant que le glissement est survenu après un terrassement formant:

- Un déblai "court", pour lequel la plateforme réalisée (pour la construction d'une maison) est de forme sensiblement carrée.
- Un déblai "long", dans le cas, par exemple, de la création ou de l'élargissement d'un chemin.
- Un remblai dont la surcharge imposée à la pente naturelle a provoqué le glissement.

1.1 -Définition des paramètres géométriques

Les paramètres géométriques définis sur les figures 1,3 et 5, et reportés sur les tableaux I, II et III sont:

- La pente naturelle i_0 du versant.
- La pente i et la hauteur h du talus après terrassement.
- La longueur D et la largeur d de la plateforme réalisée (lors des terrassements).
- La corde L et la flèche A de la fissure circulaire (visible sur le terrain).
- Le pendage ω du plan tangent à la surface de glissement.
- Le rapport approximatif V_2/V_1 du volume V_2 des terres éboulées au volume V_1 des terrassements effectués.

La caractéristique commune à tous ces cas réside dans l'allure de la surface topographique après l'accident. On observe en effet un affaissement des terres au sommet du glissement, et la limite des matériaux déplacés est matérialisée par une fissure COURBE, proche d'un arc de cercle qui caractérise l'intersection de la surface de glissement et du versant assimilé à un plan incliné. A la base du glissement, les terres éboulées, généralement gorgées d'eau, forment une coulée vers l'aval.

1.2 - Déblais courts (6 cas) (fig.1 et 2 et Tab.I)

Ces six cas correspondent à des glissements survenus dès la fin des terrassements (effectués pour construire une maison individuelle). La fissure, circulaire dans tous les cas, dépasse de part et d'autre la longueur de la plateforme (envahie par les terres éboulées et recouverte de boue). La partie supérieure de la surface de glissement est quasi verticale. Le volume approximatif des terres éboulées est généralement supérieur au volume des terres excavées (rapport pouvant atteindre la valeur 10).

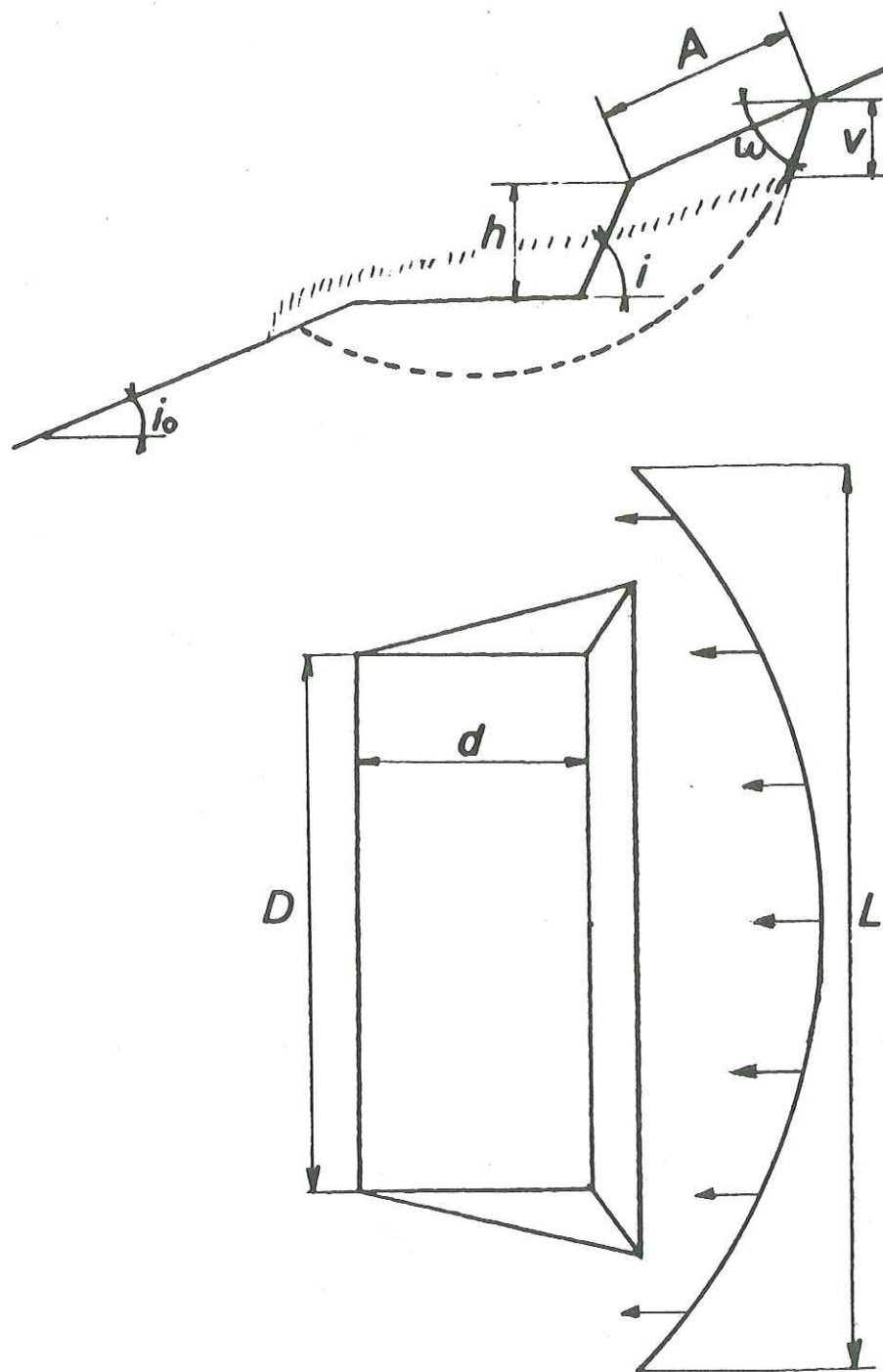


fig. 1 : Géométrie des déblais courts

Pour les cas 1 à 5 (fig. 2 abcde), l'axe du terrassement, sensiblement confondu avec la direction de la ligne de plus grande pente du terrain naturel, correspond à la direction du glissement. Pour le cas 6 (fig. 2 f) l'axe du terrassement est orienté à 30° environ par rapport à la direction de la ligne de plus grande pente: la direction du glissement s'effectue néanmoins parallèlement à cette direction.

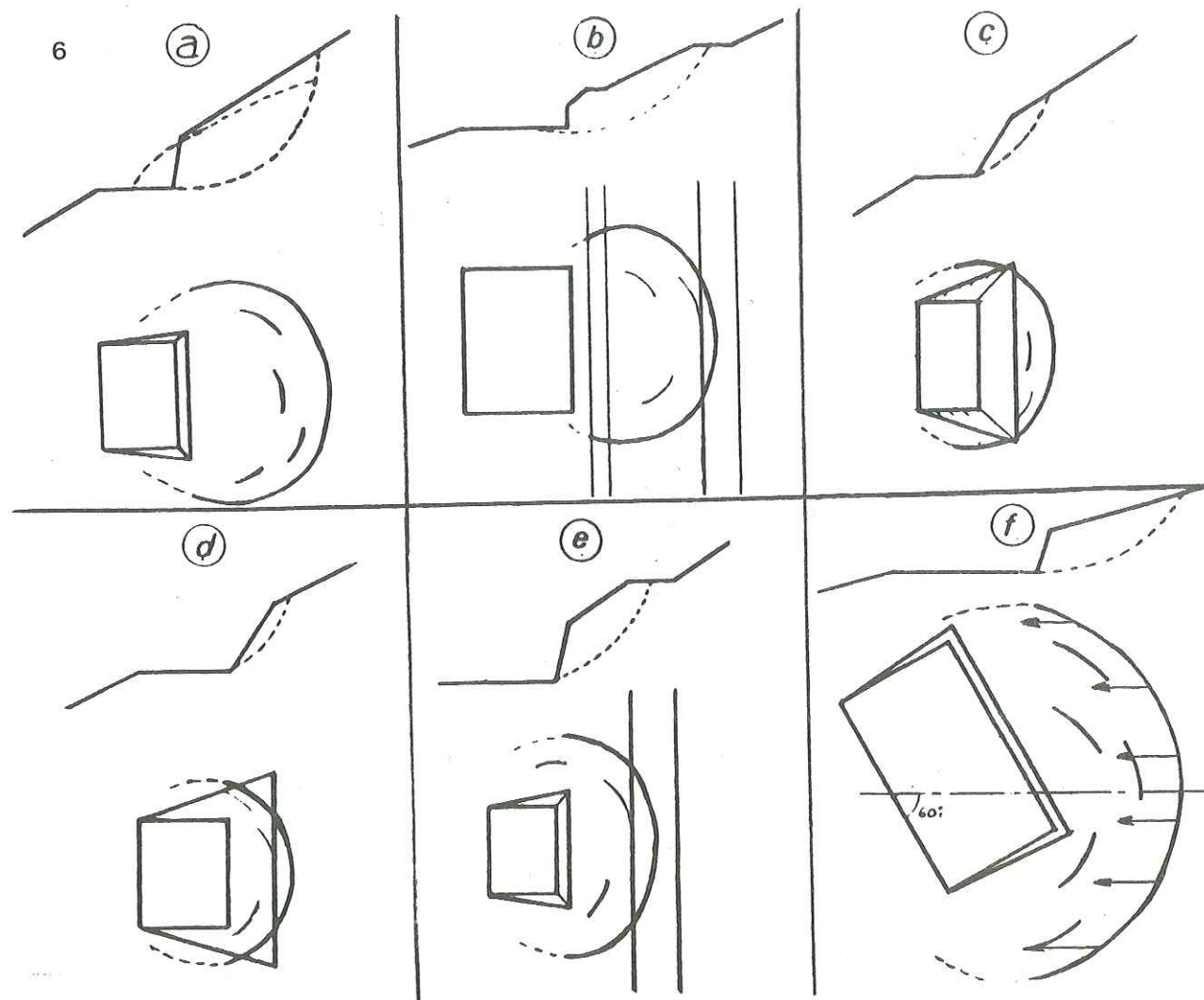


fig. 2 : Exemples de glissements en déblai court
a:Ste Maxime, b:Seyssins, c:Monteynard, d:Revel, e:Les Allues, f:Valmeynier

TABLEAU I

Paramètres géométriques des glissements en déblai court

Site			Surface topographique		Excavation			Surface de rupture			
N°	LIEU		i_0 degrés	i degrés	h m	d m	D m	L m	A m	ω degrés	V2/V1
1	Ste MAXIME	(83)	30	80	6	10	15	30	22	90	4
2	SEYSSINS	(38)	25	56	11	15	20	30	2	75	2
3	MONTENYARD	(38)	30	45	8	8	15	25	6	65	4
4	REVEL	(38)	26	56	9	12	15	16	2	80	0.8
5	LES ALLUES	(73)	34	80	14	10	12	22	3	85	7
6	VALMEYNIER	(73)	16	80	10	17	30	50	18	70	10

1.3 - Déblais longs. (4 cas). (fig.3 et 4 et Tab. II)

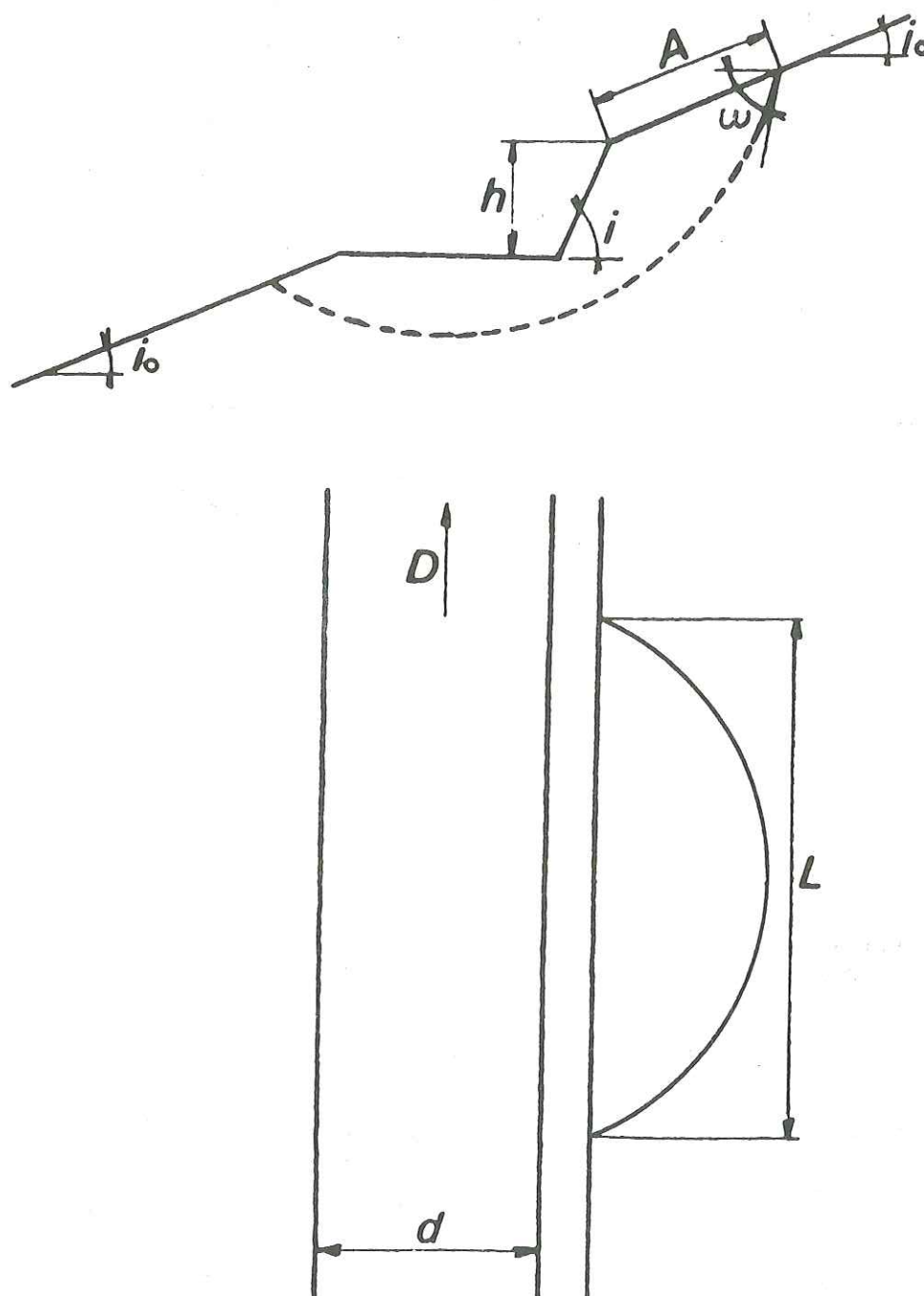


fig. 3: Géométrie des glissements en déblai long

Les cas 7 à 10 (fig.4 abcd) correspondent à des terrassements de grande longueur réalisés pour un lotissement (N°7), pour un terrain de sport (N°8), et pour l'élargissement d'un chemin (N° 9 et 10). Malgré cette grande longueur, la zone en glissement est très localisée, et la fissure visible au sommet du glissement est également à peu près circulaire. L'ensemble présente tous les aspects d'une loupe de glissement.

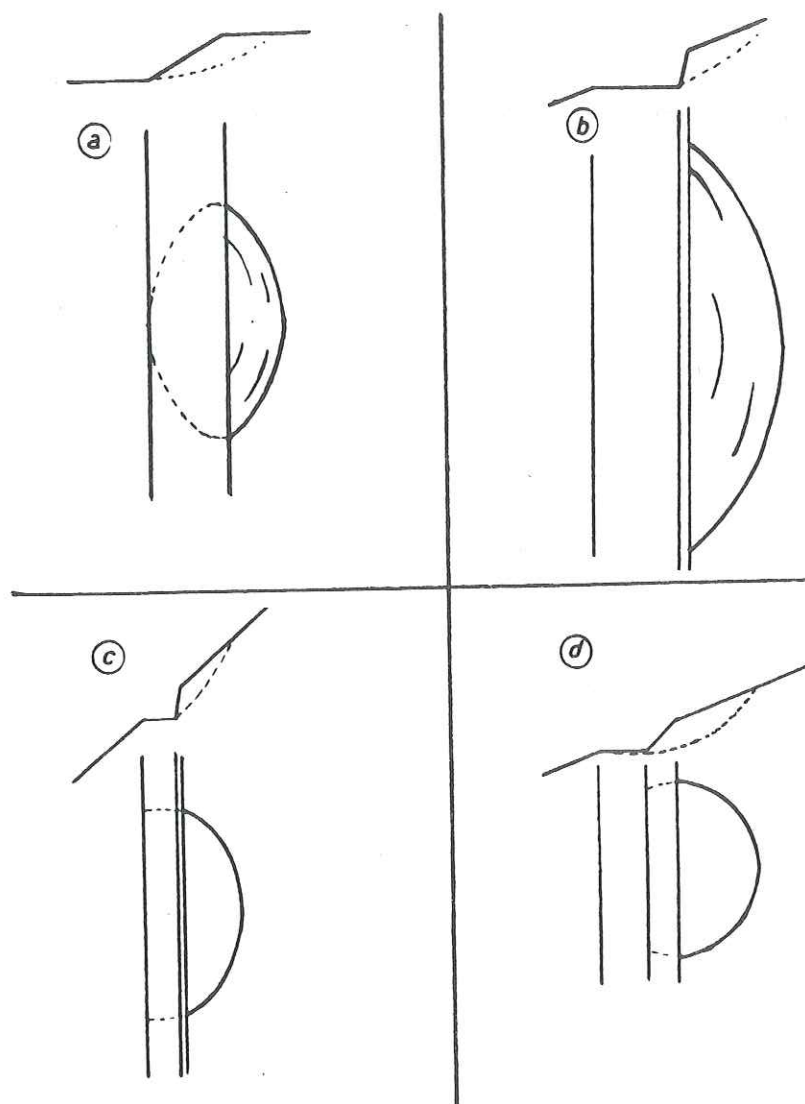


fig.4: Exemples de glissements en déblai long
a: Eybens, b: Crupies, c: St Guillaume, d: Viriville

TABEAU II

Paramètres géométriques des glissements en déblai long

Site			Surface topographique		Excavation			Surface de rupture			
N°	LIEU		i_0 degrés	i degrés	h m	d m	D m	L m	A m	ω degrés	V2/V1
7	EYBENS	(38)	23	27	7	>100	80	46	10	90	0.3
8	CRUPIES	(26)	25	75	5	26	80	74	20	90	3
9	St GUILLAUME	(38)	40	80	6	6	>100	35	13	64	0.8
10	VIRIVILLE	(38)	20	45	5	6	>100	30	15	90	0.1

1.4 -Remblai et déblai-remblai (fig.5 et 6 et Tab.III)

Pour les cas 11 à 13, (fig. 6 abc) un terrassement a été effectué (lors de la construction d'une maison), et les déblais ont été déposés dans le voisinage. Le glissement ne s'est pas produit au-dessus de la plateforme, mais au niveau du dépôt de terre, dont le poids a entraîné le terrain naturel.

Pour les cas 14 et 15 (fig. 6 d e), une route et un chemin en déblai existaient depuis plusieurs années, semble-t-il sans aucun désordre, mais le dépôt d'un remblai au dessus du talus de la route a provoqué le glissement.

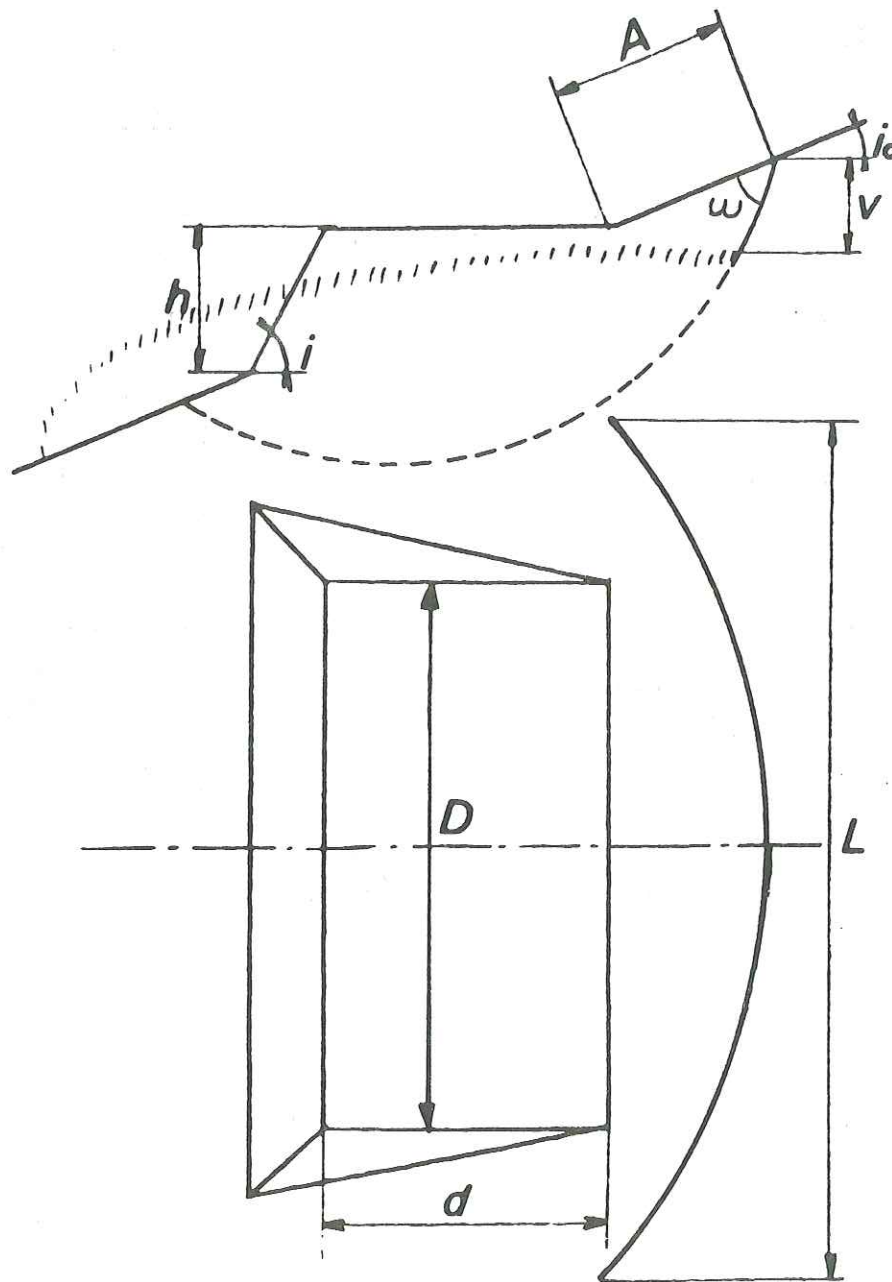


fig. 5 : Géométrie des glissements en remblai et déblai-remblai

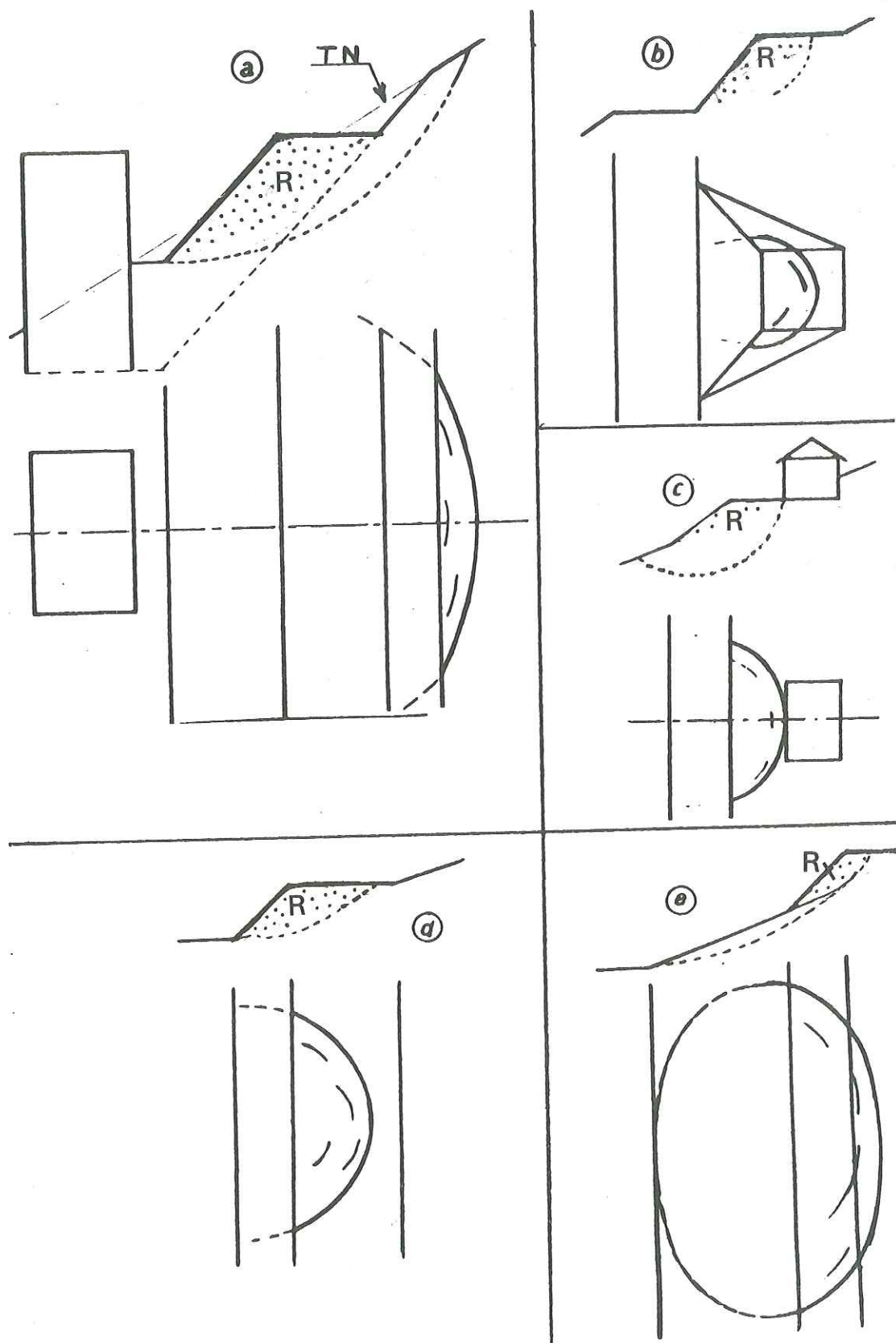


fig. 6 : Exemples de glissements dus à des remblais
 a: Les Deux Alpes, b: Corenc, c: Pont en Royans, d: Montferrat, e: Le Sappey
 R = remblai, TN = terrain naturel

TABLEAU III

Paramètres géométriques des glissements en remblai

Site			Surface topographique		Excavation			Surface de rupture			
N°	LIEU		i ₀ degrés	i degrés	h m	d m	D m	L m	A m	ω degrés	V2/V1
11	DEUX ALPES	(38)	33	45	20	15	40	60	3	80	5
12	CORENC	(38)	20	35	5	10	18	30	6	90	10
13	PONT EN ROYANS	(38)	25	45	5	6	6	16	6	80	4
14	MONTFERRAT	(38)	18	45	10	80	>100	40	25	70	3
15	LE SAPPEY	(38)	21	45	8	>100	>100	25	2	90	1

1.5- Analogie avec les glissements naturels (Sinard, Harmalière, Pays de Caux).

Quelques exemples naturels sont rappelés ici comme éléments de comparaison avec les exemples provoqués précédents.

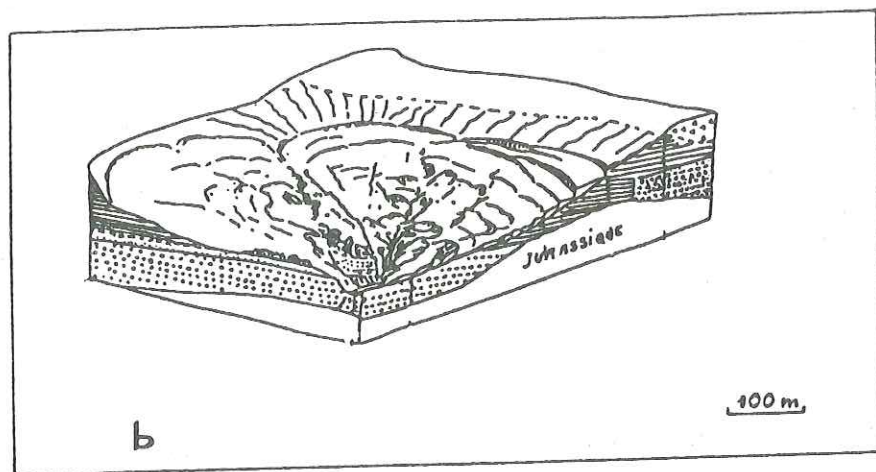
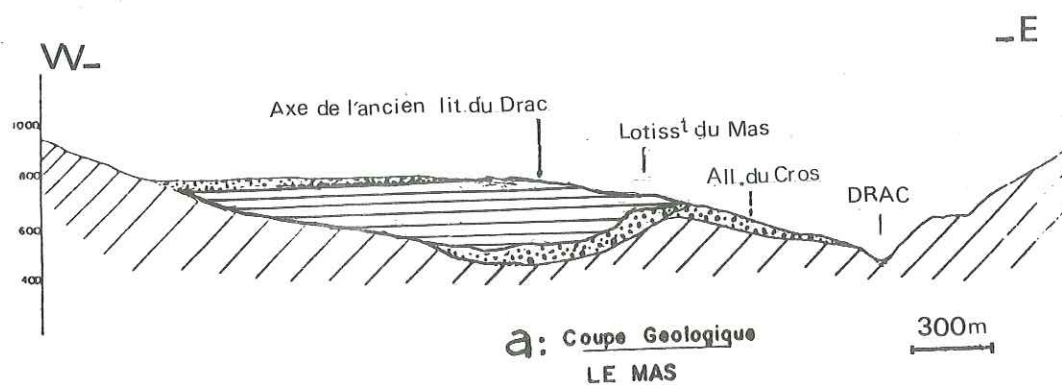
Le cas de Sinard (Ref.1,2,3,4,5) est un important glissement dans les argiles du Trièves, près de Grenoble, au dessus du lac de Monteynard. La zone en mouvement recouvre un espace de l'ordre de 700 à 800 m de largeur.

Le glissement d'Harmalière (Ref.2,3,4,5), s'est effectué dans une zone voisine, et des mouvements comparables sont observés.

Dans ces deux cas, de nombreuses fissures apparaissent dans le sol avec, ou non, déplacement de la partie aval, mais ces fissures sont toujours courbes, et l'ensemble de la zone en mouvement peut, approximativement, être circonscrite dans un cercle de l'ordre de 800 m de diamètre (fig.7b).

Les sites de Sinard et d'Harmalière (fig.7) sont observés depuis de nombreuses années (les cultivateurs les plus anciens parlent de mouvements remontant à plus de cinquante ans). Si, dans le passé, ces mouvements n'étaient pas très inquiétants (seuls les éleveurs étaient parfois surpris de rencontrer des fissures dans leurs paturages), le problème a été considéré avec plus d'intérêt après la construction du barrage de Monteynard, sur le Drac, et de plusieurs maisons d'habitation, dont certaines ont été fort endommagées, voire détruites. Des travaux importants ont été entrepris pour tenter une stabilisation des mouvements (réseaux de drainage en surface), et des campagnes de mesure et d'observation ont été entreprises.

Les éboulements des falaises du Pays de Caux (Ref.6), en terrain crayeux, présentent des surfaces de rupture nettement visibles (la mer ayant débarrassé les terres glissées). Elles sont assimilables soit à des calottes sphériques, soit même, à la partie supérieure, à des cylindres de révolution ("cirque"), dont les génératrices forment les lignes de plus grande pente de la nouvelle surface topographique. Rappelons enfin les structures bien connues des géologues telles que les loupes de glissement, "petite masse glissée de terrain formant grossièrement une demi-sphère convexe vers le bas et dégageant une niche d'arrachement", et les failles listriques "failles dans l'ensemble proches de l'horizontale ayant une forme de cuillère concave vers le haut" (Réf.7).



moraines argileuses;
 argiles remaniées à galets;
 argiles litées
 alluvions;
 substratum calcaire indifférencié

fig. 7 : Exemples de glissements "naturels". D'après BLANCHET (Réf.4) et LAMBERT (Réf.5) a: Sinard (Le Mas d'Avignonnet), b: Harmalière

1.6 - Conclusion sur les surfaces de glissement

Les exemples ci-dessus montrent que les mouvements de terrain, naturels ou provoqués, notamment ceux de petit volume, sont caractérisés par des surfaces de discontinuité plus souvent proches de la calotte sphérique que du cylindre de révolution à génératrices horizontales.

La localisation des glissements (même sur des pentes de grande longueur due à l'intervention humaine ou à des phénomènes naturels, parfois difficiles à prévoir), est très courante.

2.- CINEMATIQUE. (Les champs de déplacement).

L'observation de ces glissements fournit généralement la trace, ou les traces, sur la surface topographique, des surfaces de discontinuités cinématiques, et parfois, lorsque le rejet est important, leur partie supérieure où apparaissent des stries sub-verticales indiquant la direction des déplacements. Ces stries, souvent observées dans les massifs rocheux, sont rares en terrain meuble, le remaniement des terres éboulées et la présence de blocs masquant en général ces indices précieux du champ des déplacements.

Les observations ont été faites lorsque le glissement était terminé, ou tout au moins provisoirement stabilisé. La direction des déplacements au moins en surface, voire en profondeur, peut être déterminée à l'aide d'appareils de mesure, comme par exemple à Sinard où des tubes inclinométriques ont été mis en place: chacun d'eux indique un déplacement vers le bas (dans la zone des discontinuités cinématiques), sensiblement dans le plan vertical passant par les lignes de plus grande pente.

En conséquence, un mouvement des terres glissées peut être envisagé comme s'effectuant dans des plans verticaux, parallèles, passant par les lignes de plus grande pente.

3.- STABILITE

Habituellement, les calculs de stabilité des pentes sont effectués avec l'hypothèse de la déformation plane d'un volume de sol qui glisse sur une surface proche du cylindre de révolution, de grande longueur, à génératrices horizontales perpendiculaires à la ligne de plus grande pente du versant (plan).

Les observations précédentes de glissements provoqués, notamment pour des déblais longs, ou de glissements naturels, conduisent à envisager des surfaces de rupture en forme de calotte sphérique, et un mouvement tel que les vecteurs déplacement soient perpendiculaires à la trace horizontale du talus. Eventuellement, pourrait être envisagée une surface de rupture en partie cylindrique à génératrices perpendiculaires à la trace horizontale du talus.

Les méthodes classiques (Réf.8,9,10) qui assimilent la masse glissée à un solide indéformable et utilisent la loi de Coulomb sur la surface de glissement, pourront être extrapolées à ces formes de surfaces de rupture et à cette cinématique.

CONCLUSION.

Les glissements de terrain de petit volume, provoqués dans des formations meubles par des terrassements intempestifs, présentent une géométrie et

une cinématique très caractéristiques, notamment par l'intersection de la surface de rupture avec la surface topographique plane, de type circulaire. Ils présentent une analogie remarquable avec les glissements naturels en terrain argileux ou avec les loupes de glissement familières aux géologues. Le mouvement s'effectue dans une direction normale à l'horizontale du versant, même dans le cas des excavations déviées.

L'étude de leur stabilité conduit à adapter les méthodes de calcul usuelles en déformation plane, à ce type de surface de rupture voisine de la calotte sphérique.

Il convient enfin de souligner la grande vulnérabilité de ces terrains meubles, même sous de faibles pentes naturelles (entre 16 et 40°) avec 10 cas sur 15, soit 66%, des pentes inférieures à 26°.

Dans d'autres cas non décrits ici (dont une pente de l'ordre de 5°), un glissement s'est produit sous l'effet de venue d'eau locale entraînant de fortes pressions interstitielles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - ANTOINE P. L.BESSON, F.BLANCHET, P.MERIAUX, Y.TACKER, 1987. Phénomènes d'instabilité dans les argiles glacio-lacustres du Trièves. International Symposium on Engineering Geological Environment in mountain areas. Pékin, p.645-652
- 2 - AL HAYARI M. P.ANTOINE, G.BIGUENET, H.MORA, 1989. Détermination des caractéristiques au cisaillement des argiles litées. Cas du glissement de la Combe d'Harmalière. Rev. Fr. Géotech. N°50 jan.1990, pp 71-77.
- 3 - AL HAYARI M. 1989. Une détermination des caractéristiques mécaniques résiduelles de versants naturels. Méthodes à l'équilibre limite et des éléments finis. Thèse, Université J.Fourier. Grenoble. 230 p.
- 4 - BLANCHET F. 1988. Etude géomécanique de glissements de terrain dans les argiles glacio-lacustres de la vallée du Drac. Thèse, Université J.Fourier. Grenoble. 190 p.
- 5 - LAMBERT A.et G.MONTJUVENT, 1968. Quelques vues nouvelles sur l'histoire quaternaire de la vallée du Drac (note préliminaire). Géologie alpine, Grenoble 44. p 117-137.
- 6 - EVRARD H. et C. SINELLE, 1980. Stabilité des falaises du Pays de Caux. CETE, Labo Régional des Ponts et Chaussées 76120, Le Grand Quevilly. 88 p.
- 7 - FOUCAULT A. et J.F.RAOULT, 1984. Dictionnaire de Géologie. Masson, 2^e Edition. 348 p.
- 8 - TAYLOR D.W. 1948. Fundamentals of soil mechanics. J.Wiley, New-York. 700 p.
- 9 - CAQUOT A. et J.KERISEL. Traité de mécanique des sols. Gauthier-Villard 1956. 558 p.
- 10 - BISCHOP A.W. 1955. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Géotechnique, 5; pp 7-17